El universo como un tejido de células cuánticas: una nueva visión cíclica y eterna

Un modelo cosmológico que integra simetrías, entrelazamiento cuántico y espacio-tiempo discreto propone un cosmos eterno, dinámico y en continua retroalimentación, con respuestas a las tensiones actuales de la cosmología.

Ernesto Mascarell Perez
Investigador independiente
Mascarell1960@hotmail.com

Introducción: más allá del Big Bang

El modelo del Big Bang ha sido extraordinariamente exitoso: explica la expansión del universo, la radiación de fondo de microondas (CMB) y la abundancia de elementos ligeros. Sin embargo, arrastra consigo preguntas incómodas. ¿Qué ocurrió en la singularidad inicial? ¿Por qué el universo es tan homogéneo a gran escala? ¿Por qué la expansión se acelera? Y, más recientemente, ¿por qué las mediciones de la constante de Hubble (la tasa de expansión actual) no coinciden cuando se obtienen del CMB o de fuentes locales?

En la última década, han surgido alternativas que buscan ir más allá del Big Bang. Algunas proponen un universo eterno, con ciclos infinitos de expansión y contracción. Otras apelan a la gravedad cuántica o a la estructura discreta del espacio-tiempo. Pero ahora, un nuevo marco teórico integra todas estas ideas bajo un mismo paraguas: **universos cíclicos eternos, regulados por el entrelazamiento cuántico, y organizados como un tejido de "células" cósmicas conectadas por la propia estructura del espacio-tiempo**.

Este artículo recorre los pilares de esta propuesta, muestra cómo resuelve problemas fundamentales y explica cómo podría ponerse a prueba con observaciones actuales y futuras.

---

1. El poder de las simetrías: de Noether al universo eterno

Uno de los principios más profundos de la física es que **a cada simetría le corresponde una ley de conservación**. El teorema de Emmy Noether (1915) establece que si las leyes de la naturaleza no cambian al desplazarnos en el tiempo,

la energía se conserva; si no cambian al desplazarnos en el espacio, se conserva el momento; si no cambian al rotar, se conserva el momento angular.

En cosmología, estas simetrías parecen estar rotas. Por ejemplo, el universo se expande, por lo que la energía no se conserva globalmente en relatividad general. Además, el tiempo avanza en una dirección (la flecha termodinámica) debido al aumento de entropía. Para un universo eterno, este es un desafío: ¿cómo puede ser eterno si la entropía no deja de aumentar?

La respuesta está en concebir **simetrías más profundas**, como la simetría CPT (carga, paridad, inversión temporal). Un universo que sea globalmente CPT-simétrico puede estar compuesto por dos mitades: nuestro universo con la flecha del tiempo hacia adelante y un "universo espejo" con la flecha hacia atrás, uniéndose en un punto de mínima entropía. Ese punto sería el Big Bang, pero no un inicio absoluto, sino un punto de transición en un cosmos eterno.

Este tipo de ideas sienta las bases para una cosmología cíclica y eterna, donde cada ciclo tiene su propio Big Bang y su propio aumento de entropía, pero el sistema total permanece en equilibrio.

---

2. Entrelazamiento cuántico: el motor oculto del cosmos

Uno de los descubrimientos más revolucionarios de la física cuántica es el **entrelazamiento**: dos partículas pueden estar correlacionadas de manera no local, de modo que la medición de una afecta instantáneamente al estado de la otra, sin importar la distancia. Este fenómeno, que Einstein llamó "acción fantasmagórica a distancia", ha sido verificado en laboratorios hasta distancias de cientos de kilómetros, e incluso recientemente en colisiones de alta energía en el LHC con pares de quarks top.

¿Podría el entrelazamiento tener relevancia a escala cosmológica? La propuesta que exploramos dice que sí. **Una red de partículas entrelazadas a lo largo de todo el universo puede actuar como un regulador de la expansión**. Esta red aporta un término adicional a las ecuaciones de Friedmann (las que rigen la expansión cósmica) que llamamos Q.

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\left(\rho_{\text{materia}} a^{-3} + \rho_{\text{radiación}} a^{-4}\right) - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3} + Q$$

El término Q depende del número de pares entrelazados, de su coherencia y de una fase colectiva. En esencia, cuando el universo es pequeño y denso, el entrelazamiento es intenso y Q puede ser grande; cuando se expande, se diluye. Este efecto puede **acelerar o frenar la expansión** según la fase, y puede incluso generar una aceleración tardía similar a la energía oscura, sin necesidad de una constante cosmológica ad hoc.

---

3. Conjuntos causales: espacio-tiempo discreto con pasado infinito

Para que el universo pueda ser eterno y evitar la singularidad del Big Bang, necesitamos una teoría del espacio-tiempo que no colapse en densidades infinitas. La **teoría de conjuntos causales** propone que el espacio-tiempo está formado por "átomos" discretos (eventos) relacionados por un orden causal. No hay continuidad: la geometría emerge de la combinatoria de estos puntos.

Lo crucial es que estos conjuntos pueden tener **pasado infinito**: no existe un primer evento. Así, el Big Bang no es una singularidad, sino un punto de alta densidad dentro de una secuencia causal que se extiende eternamente hacia el pasado. En este marco, el entrelazamiento cuántico aparece de forma natural como correlaciones entre eventos que comparten pasado causal.

Combinando los conjuntos causales con el término Q obtenemos un escenario en el que cada ciclo cósmico (expansión, contracción, rebote) está ligado al siguiente a través de la memoria preservada por la red de entrelazamiento. Esa memoria es clave: permite que las condiciones del ciclo anterior influyan en el nuevo, explicando por qué las fluctuaciones primordiales tienen el espectro que observamos.

---

4. El ciclo completo: una danza eterna entre contracción y expansión

Describamos ahora cómo es un ciclo completo en este modelo. Cada "célula" (nuestro universo observable, pero también otros universos en un posible multiverso) atraviesa seis fases:

1. **Contracción desde la máxima expansión**: la densidad aumenta, la red de entrelazamiento se intensifica y la coherencia crece.
2. **Rebote**: en un tamaño mínimo (del orden de la escala de Planck), el universo rebota. La memoria cuántica transfiere al nuevo ciclo información sobre la fase colectiva y la coherencia del ciclo anterior.
3. **Expansión temprana**: el universo se enfría, se produce la nucleosíntesis y se emite la radiación de fondo de microondas. El término Q modula la velocidad de expansión, afectando la distancia de sonido en el CMB.
4. **Expansión intermedia**: se forman las galaxias. La materia oscura (incluida como componente adicional) crece bajo la gravedad, pero su evolución puede verse alterada por la interacción con la red cuántica.

5. **Expansión tardía**: la fase colectiva puede generar una aceleración efectiva, explicando la energía oscura observada.
6. **Máxima expansión y retorno**: la expansión se detiene y comienza de nuevo la contracción, cerrando el ciclo.

La red de entrelazamiento actúa como un **reloj y un regulador**: la fase $\Phi(t)$ determina la intensidad del término Q y su signo, mientras que la coherencia $D(t)$ controla cuánto dura este efecto. La evolución de Φ es similar a la de un sistema de osciladores acoplados (modelo de Kuramoto), lo que permite fenómenos de sincronización colectiva.

---

5. El tejido de células: un multiverso de universos entrelazados

Una extensión natural es imaginar que nuestro universo no está solo. Si el espacio-tiempo fundamental (el conjunto causal) es uno solo, puede dividirse en regiones o "células", cada una con su propia dinámica de ciclo. Estas células están conectadas por relaciones causales y por el entrelazamiento entre sus partículas.

En este **tejido de universos cíclicos**, las ecuaciones de cada célula se acoplan a las de sus vecinas. Por ejemplo, la fase Φ_i de una célula evoluciona bajo la influencia de las fases de sus vecinas, con un término $\sin(\Phi_j - \Phi_i)$. Esto puede llevar a la sincronización global: todas las células comienzan sus ciclos al mismo tiempo, explicando la homogeneidad observada.

Dependiendo de la topología de la red (unidimensional, bidimensional, aleatoria, etc.), pueden emerger comportamientos colectivos como dominios sincronizados, ondas de fase o incluso estados caóticos. Las simulaciones numéricas que hemos desarrollado permiten explorar estos regímenes y extraer predicciones observables.

---

6. Resolviendo la tensión de Hubble: ¿un universo más joven?

Uno de los problemas más candentes de la cosmología es la **tensión de Hubble**: las mediciones locales de la constante de Hubble (H_0) arrojan valores de ~73–74 km/s/Mpc, mientras que las inferencias del CMB bajo el modelo estándar ΛCDM dan ~67–68 km/s/Mpc. Esta discrepancia, con una significación de 5σ, sugiere que algo falta en nuestra comprensión de la expansión temprana.

En nuestro modelo, el término Q puede actuar como una **energía oscura temprana** que acelera la expansión antes de la recombinación, reduciendo la distancia de sonido en el CMB. Esto permite que, con los mismos datos del CMB, se obtenga un H_0 más alto, en línea con las mediciones locales. La simulación numérica del ciclo muestra que, eligiendo adecuadamente los parámetros del entrelazamiento, se puede lograr el ajuste necesario.

Además, el acoplamiento entre células (si nuestro universo forma parte de un tejido) puede modificar la historia de expansión de manera aún más rica, ofreciendo un mecanismo natural para explicar la tensión sin recurrir a componentes exóticos.

---

7. Materia oscura y la tensión S_8: un crecimiento más lento

Otra discrepancia, menos conocida pero igualmente significativa, es la **tensión en** S_8, que mide la amplitud de las fluctuaciones de materia. Los datos de lentes gravitacionales (como los de los telescopios KiDS y DES) apuntan a un valor menor que el inferido del CMB. Esto sugiere que la materia se ha agrupado más lentamente de lo que predice ΛCDM.

En nuestro modelo, la materia oscura puede interaccionar con la red de entrelazamiento. Un acoplamiento sencillo es permitir que parte de la energía de entrelazamiento se convierta en materia oscura en cada rebote, o que la evolución de la densidad de materia oscura dependa de la fase Φ. Estas interacciones pueden **suprimir el crecimiento de estructuras en escalas pequeñas**, reduciendo σ_8 y aliviando la tensión S_8.

Así, el mismo mecanismo que regula la expansión (el entrelazamiento) también afecta la formación de galaxias, proporcionando una solución unificada a dos de las tensiones cosmológicas más importantes.

---

8. Firmas observacionales: cómo testear el modelo

Un modelo cosmológico solo es útil si puede ser falsado con observaciones. Nuestra propuesta deja varias huellas distintivas:

- **No-gaussianidad primordial**: mientras que la inflación simple predice una no-gaussianidad muy pequeña ($f_{NL} \ll 1$), el proceso de rebote con memoria cuántica puede generar un f_{NL} del orden de la unidad o mayor,

especialmente de tipo local o equilátero. Los futuros experimentos de CMB (CMB-S4, Simons Observatory) podrán detectar o acotar estos valores.
- **Correlaciones a gran escala**: el entrelazamiento entre regiones distantes puede producir un exceso de correlación en la función de dos puntos de galaxias en escalas superiores al horizonte de partículas, algo que no ocurre en ΛCDM. Encuestas como Euclid y el Rubin Observatory podrán medir estas correlaciones con alta precisión.
- **Asimetrías de paridad**: observaciones recientes muestran que las galaxias espirales tienen un giro preferente (más antihorario que horario, por ejemplo). En nuestro modelo, la fase colectiva Φ puede tener una helicidad neta heredada de ciclos anteriores, produciendo una dirección privilegiada en el cielo que podría manifestarse en el CMB (el llamado "eje del mal") y en el alineamiento de galaxias.
- **Espectro de potencia del CMB**: el término Q modifica la forma de los picos acústicos. Un análisis detallado de los datos de Planck y futuros experimentos puede determinar si existe evidencia de una energía oscura temprana con la forma funcional que aquí proponemos.

---

9. Conclusión: hacia una nueva cosmología

El modelo que hemos esbozado —universo eterno y cíclico, regulado por entrelazamiento cuántico, con espacio-tiempo discreto y organizado en un tejido de células interactuantes— representa un cambio de paradigma respecto al Big Bang estándar. Reemplaza la singularidad inicial por un rebote suave, explica la homogeneidad y la isotropía como resultado de la sincronización colectiva, y genera de forma natural la expansión acelerada y la materia oscura como efectos emergentes.

Además, ofrece predicciones observacionales que permitirán ponerlo a prueba en los próximos años. Si las tensiones de Hubble y S_8 persisten y nuevas mediciones de no-gaussianidad y correlaciones a gran escala confirman las anomalías actuales, este tipo de modelos podrían convertirse en la nueva base de la cosmología.

Pero más allá de su potencial explicativo, este marco nos invita a concebir el cosmos como un **organismo cuántico**: una red de células que respiran, se sincronizan y se transmiten información a través del entrelazamiento. Un universo que no nació, sino que siempre ha estado ahí, en un ciclo eterno de creación y recreación.

Referencias para profundizar

- Noether, E. (1918). *Invariante Variationsprobleme*. Nachr. d. König. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen, Math-phys. Klasse, 235–257.
- Bombelli, L., Lee, J., Meyer, D., & Sorkin, R. D. (1987). *Space-time as a causal set*. Physical Review Letters, 59(5), 521.
- ATLAS Collaboration (2024). *Observation of quantum entanglement in top-quark pairs*. (Resultado presentado en conferencias; pendiente de publicación).
- Riess, A. G., et al. (2022). *A Comprehensive Measurement of the Local Value of the Hubble Constant with 1 km/s/Mpc Uncertainty*. The Astrophysical Journal Letters, 934(1), L7.
- Planck Collaboration (2020). *Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters*. Astronomy & Astrophysics, 641, A6.
- Carroll, S. M., & Chen, J. (2004). *Spontaneous inflation and the origin of the arrow of time*. Physical Review D, 70(4), 043501.